



Contribution du géomagnétisme à l'étude géologique de la région d'Aguelmous (Est du massif hercynien central marocain) Geomagnetic contribution to the geological study of Aguelmous district (Eastern part of the central Moroccan hercynian Massif)

Driss El Azzab, Younès Ghfir, Christian Hoepffner

► **To cite this version:**

Driss El Azzab, Younès Ghfir, Christian Hoepffner. Contribution du géomagnétisme à l'étude géologique de la région d'Aguelmous (Est du massif hercynien central marocain) Geomagnetic contribution to the geological study of Aguelmous district (Eastern part of the central Moroccan hercynian Massif). Pangea infos, 2001, 35/36, pp.59-66. insu-00947863

HAL Id: insu-00947863

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00947863>

Submitted on 17 Feb 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Contribution du géomagnétisme à l'étude géologique de la région d'Aguelmous (Est du massif hercynien central marocain)

Geomagnetic contribution to the geological study of Aguelmous district (Eastern part of the central Moroccan hercynian Massif)

Driss EL AZZAB (1), Younès GHFIR (1) & Christian HOEPFFNER (2)

- (1) Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences et Techniques Sais Fès, Département des Sciences de la terre, B.P. 2202, Fès, Maroc.
Enseignants chercheurs
Tél. (212) 5 56 08 014 Fax (212) 5 56 08 214 E-mail delazzab@caramail.com
- (2) Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, Avenue Ibn Batouta, Rabat Agdal, B.P. 1014, Rabat, Maroc.
Enseignant chercheur

Résumé

Le levé aéromagnétique de la région d'Aguelmous (est du Massif central marocain) présente des anomalies orientées. Leur forme a été simplifiée par le prolongement vers le haut. Les anomalies situées à l'ouest du granite du Ment sont engendrées par les laves plio-quaternaires qui affleurent intégralement. Elles sont alignées suivant la direction NE-SW. En revanche, celles situées à l'est qui sont allongées suivant la même direction, n'ont pas d'évidence de leurs sources à la surface. Nous les attribuons aux laves plio-quaternaires qui ont emprunté les accidents hercyniens. Ces derniers sont néotectoniquement actifs comme l'attestent nos résultats paléomagnétiques préliminaires et ceux de la sismicité naturelle de la région.

Mots clés : Massif hercynien central; Anomalie magnétique; Lave volcanique; Réduction au pôle.

Abstract

The aeromagnetic survey of Aguelmous district (Eastern part of the central Moroccan Massif) shows some oriented anomalies. Their form has been simplified by an upward continuation. The anomalies situated west of Ment granite are generated by the Plio-Quaternary lavas that completely outcrop. They are lined up along the NE-SW direction. However, those situated east, elongated along the same direction, do not show any evidence of their source at the surface. We attribute them to the Plio-Quaternary lavas that have followed the Hercynian accidents. The latter are neotectonically active as shown by our paleomagnetic preliminary results and those from the natural seismicity of the district.

Key words: Central Hercynian Massif, magnetic anomaly, volcanic lava, reduction to the pole.

INTRODUCTION

La région d'Aguelmous a été le siège d'une activité volcanique très importante durant l'époque plio-quaternaire (Termier, 1936; Beaudet, 1969; Rachdi, 1983, 1989). Les produits volcaniques se situent pour la plupart à l'ouest du granite du Ment (fig. 1). Ils restent cependant très restreints en regard de leurs homologues des Causses moyen-atlasiques (Martin, 1983). Les deux régions sont parcourues par des accidents régionaux d'orientation NE-SW et ENE-WSW. Si le domaine d'étude est structuré essentiellement au cours des déformations viséenne, namurienne et westphalienne, les indices d'une activité néotectonique ont été mis en évidence par plusieurs auteurs (Beaudet, 1969; Hatzfeld *et al.*, 1977; Rachdi, 1983, 1989).

Dans le présent article, nous exposons une étude géo-

INTRODUCTION

*In the Aguelmous district a very important volcanic activity occurred during the Plio-Quaternary period (Termier, 1936; Beaudet, 1969; Rachdi, 1983, 1989). Most of the volcanic products are located west of Ment granite (Fig. 1). They are however restricted with regards to their middle-Atlasian counterparts from the Causses (Martin, 1983). Regional accidents oriented NE-SW and ENE-WSW run through both districts. If the study area is mainly structured during the Viséan, Namurian and Westphalian deformations, the signs of a neotectonic activity have been pointed out by several authors (Beaudet, 1969; Hatzfeld *et al.*, 1977; Rachdi, 1983, 1989).*

In this paper, we report a detailed geomagnetic study

magnétique détaillée de la région dans le but de délimiter les zones à contraste d'aimantation et d'examiner leur relation avec les accidents majeurs ainsi que les grandes structures caractérisant ce domaine.

of the district aiming at defining the zones of contrasted magnetisation and examining their relationship with the major accidents as well as the main structures that characterise this domain.

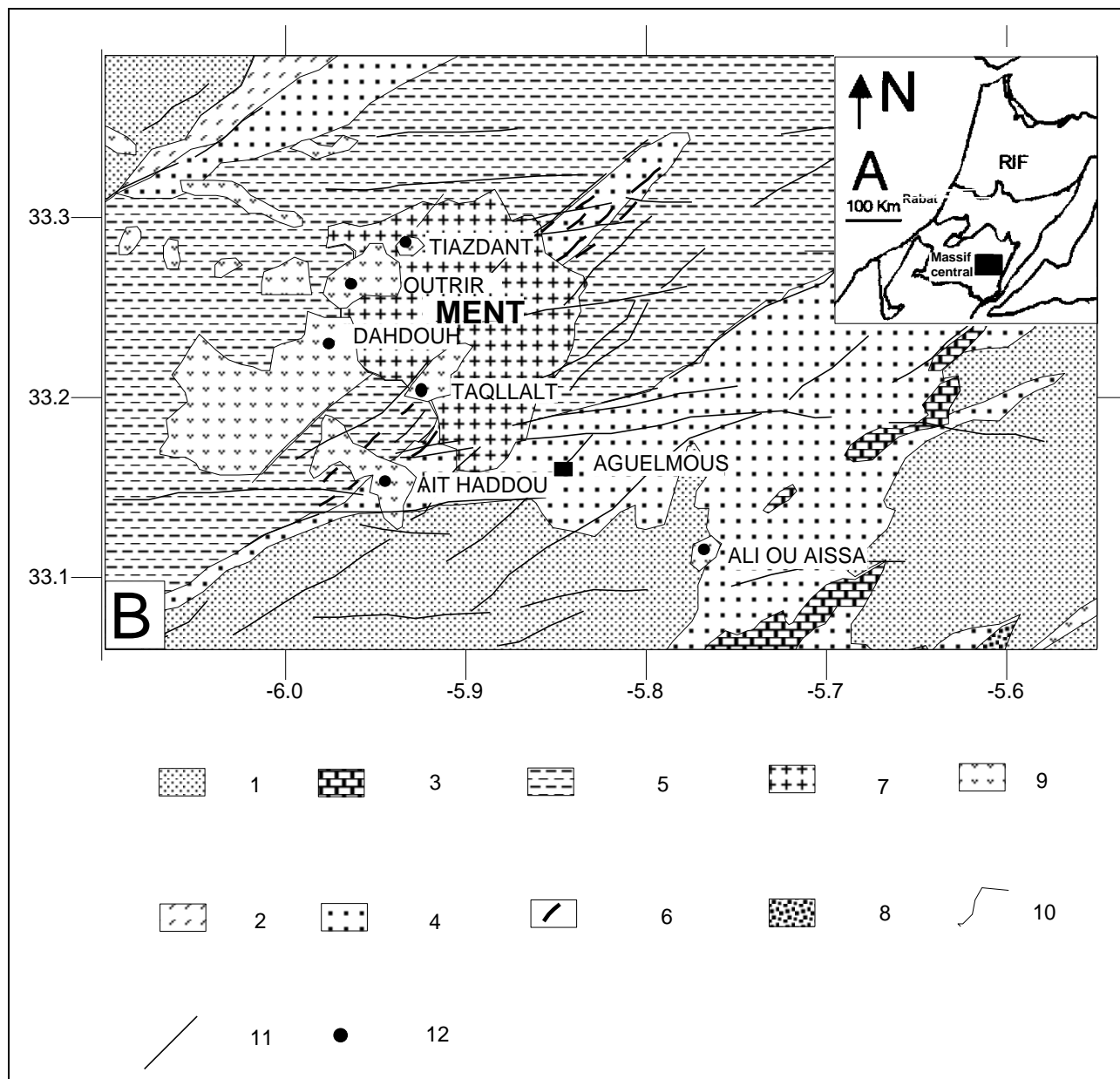


Fig. 1 – A. Situation géographique de la région étudiée (carré noir).

B. Carte géologique schématique des terrains paléozoïques du secteur d'Aguelmous.

1. Ordovicien; 2. Silurien; 3. Dévonien; 4. Viséen supérieur; 5. Namurien supérieur; 6. dykes de dolérite; 7. granite;
8. Permien; 9. roches volcaniques du Plio-quaternaire; 10. limite de couche; 11. faille; 12. volcan.

Fig. 1 – A. Location of the studied area in the Moroccan central Hercynian Massif (black square).

B. Sketched geological map of Aguelmous district.

1. Ordovician; 2. Silurian; 3. Devonian; 4. Upper Viséan; 5. Upper Namurian; 6. doleritic dykes, 7. granitic intrusion;
8. Permian; 9. Plio-quaternary volcanic rocks; 10. layer limit; 11. fault; 12. volcano.

GEOLOGIE DE LA REGION

REGIONAL GEOLOGY

La région d'Aguelmous comprend des terrains paléozoïques structurés essentiellement au cours de l'orogénèse hercynienne. Elle fait partie de la zone de transition du bâti hercynien marocain (Michard et al., 1983; Hoepffner, 1987; Bouadbelli, 1989). Elle occupe une position particulière étant donné qu'elle se trouve à cheval sur le bassin d'Azrou-Khenifra à l'est et de Fourhal à l'ouest. Ils sont séparés par la plate-forme détritique et carbonatée de Bou Belghatene-Tiberkit (Bouabdelli, 1989; Tahiri, 1991; Ghfir, 1993).

Le domaine est affecté par une déformation hercynienne polyphasée (Termier, 1936; Ribeyrolles, 1972; Huvelin, 1973) :

- i) une première phase, intra-viséenne (Bouabdelli, 1989; Ghfir, 1993),
- ii) une deuxième, post-westphalienne A (Bensaïd et al., 1980) et
- iii) une troisième d'âge Permien probable (Ghfir, 1993).

Pour les déformations ultérieures, et malgré l'absence d'une couverture méso-cénozoïque, Beaudet (1969) a défini trois périodes de soulèvement du Massif hercynien central. Elles sont respectivement d'âge post-triasique, tertiaire et post-villafranchien. Cette dernière aurait provoqué un exhaussement régional important allant jusqu'à 500 m, suite à des mouvements verticaux guidés par des failles anciennes hercyniennes.

Les laves qui s'étendent à l'ouest de la région étudiée ont été considérées d'âge post-villafranchien (Beaudet, 1969). Les analyses radiométriques K/Ar sur roche totale ont donné des âges qui s'échelonnent entre 2,8 Ma et 0,31 Ma (Rachdi, 1983; Rachdi et al., 1985). Les études pétrologiques et géochimiques ont montré une variété de roches qui correspondent à des basaltes, basanites, néphélinites, phonolites et téphrites (Rachdi, 1989).

DONNEES AEROMAGNETIQUES

Acquisition et mise en forme des données

Les données à notre disposition – sous forme de cartes – présentent le champ magnétique résiduel ainsi que l'emplacement des lignes de vols. Ces dernières sont équidistantes de 1 km et les traverses de 5 km. Nous avons numérisé le domaine compris entre -6° et -5,6° de longitude et entre 33° et 33,3° de latitude. Les données recueillies sont interpolées aux nœuds d'une grille régulière de pas égal à 500 m. La carte obtenue de cette façon restitue les anomalies observées dans la carte originelle.

Analyse de la carte d'anomalies magnétiques

La carte d'anomalies magnétiques présente plusieurs anomalies de formes, de tailles, d'intensités et d'orientations variables (fig. 2). On note la présence d'anomalies ponctuelles et d'autres qui s'interfèrent pour donner une forme très complexe. Pour les anomalies dans lesquelles les deux lobes sont bien définis, le lobe négatif se posi-

Aguelmous district consists of Palaeozoic terrains essentially structured during the Hercynian orogenesis. It is part of the Moroccan Hercynian formation transition zone (Michard et al., 1983; Hoepffner, 1987; Bouadbelli, 1989). Its location is special since it is overlapping the Azrou-Khenifra basin, east, and the Fourbal one, west. They are separated by Bou Belghatene-Tiberkit detritic and carbonated platform (Bouabdelli, 1989; Tahiri, 1991; Ghfir, 1993).

The domain is affected by a Hercynian polyphase deformation (Termier, 1936; Ribeyrolles, 1972; Huvelin, 1973):

- i) a first phase, Intravisean (Bouabdelli, 1989 ; Ghfir, 1993),*
- ii) a second phase, post Westphalian A (Bensaïd et al., 1980) and*
- iii) a third phase, probably of Permian age (Ghfir, 1993).*

For the subsequent deformations, and despite an absent meso-Cenozoic cover, Beaudet (1969) defined three periods of the central Hercynian Massif uplift. They are dated at post-Triassic, Tertiary and post-Villafranchian respectively. The latter would have caused an important regional elevation of up to 500m, following the vertical movements guided by previous Hercynian faults.

The lavas spreading to the western part of the studied area are considered to be post-Villafranchian (Beaudet, 1969). The K/Ar whole rock ages range from 2.8Myr to 0.31Myr (Rachdi, 1983; Rachdi et al., 1985). The geochemical and petrologic studies have shown a variety of rocks including basalts, basanites, nephelinites, phonolites and tephrites (Rachdi, 1989).

AEROMAGNETIC DATA

Acquisition and sorting out of data

The data at our disposal – as maps – show the residual magnetic field as well as the position of the flight lines. The flight lines and tie-lines are 1km- and 5km-equidistant respectively. We have digitised the survey area between -6° and -5.6° longitude and between 33° and 33.3° latitude. The data obtained are interpolated to produce a regular grid with a 500m cell size. The map resulting from this approach restores the observed anomalies on the original map.

Analysis of the magnetic anomaly map

The magnetic anomaly map presents several variable shape, size, intensity and orientation anomalies (Fig. 2). We note the presence of localised anomalies and others that interfere to give a very complex feature. For the anomalies in which the two lobes are well defined, the negative lobe is located south of the positive one. This is

tionne au sud du lobe positif. Ce qui est à l'opposé de la configuration normale du champ dans cette région. En outre, l'axe joignant les deux lobes est incliné par rapport au nord. Les anomalies de petites tailles à intensité variable, qui excèdent dans certains cas 500 nT (Dahdouh), sont concentrées à l'ouest du Ment. En revanche celles situées à l'est présentent un style différent. Leur intensité est relativement faible (quelques dizaines de nanoteslas) et il n'y a pas d'évidence de sources aimantées à la surface. Elles se connectent et s'allongent selon la direction NE-SW tout en se superposant à une grande anomalie d'intensité 60 nT au NE.

Pour comparer la distribution des sources des anomalies magnétiques avec les données géologiques, nous avons calculé la carte réduite au pôle.

the opposite of the normal configuration of the field in this region. Moreover, the axis joining both lobes is inclined compared with the north. The small size anomalies of variable intensity, exceeding 500nT in some cases (Dahdouh), are concentrated west of Ment. On the other hand, those situated east have a different style. Their intensity is relatively weak (some dozens of nanoteslas) and there is no evidence of any magnetic body at the surface. They connect and extend along the NE-SW direction while superimposing themselves to a large anomaly with a 60nT intensity to the NE.

To compare the distribution of the magnetic anomalies sources with the geological data, we calculated the map of the magnetic field reduced to the pole.

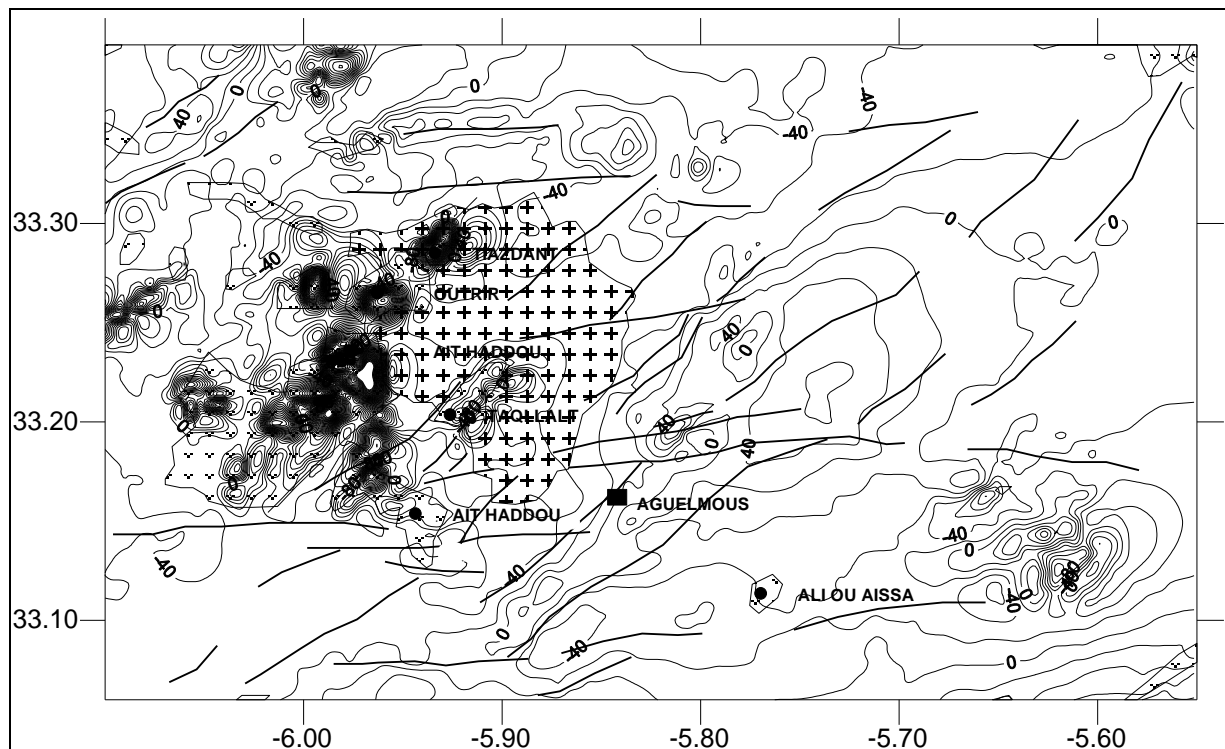


Fig. 2 – Carte d'anomalies magnétiques couvrant le domaine d'étude, avec superposition des zones d'affleurement des laves plio-quaternaires et des linéaments tectoniques.

Fig. 2 – Magnetic anomaly map, covering the study area, with superimposition of the outcropping zones of the Plio-Quaternary lavas and tectonic lineaments.

Analyse de la carte d'anomalies magnétiques réduites au pôle

Cette carte est issue d'une transformation qui permet de compenser l'effet de l'inclinaison du champ magnétique terrestre et par conséquent de positionner les anomalies à l'aplomb de leur source (fig. 3).

Les anomalies qui se situent à l'ouest du Ment se corrélaient bien avec les laves Dahdouh, Outrir, Tiazdent, Aït Haddou et Taqlalt. Elles sont d'intensité très forte. Ce

Analysis of the map of magnetic anomalies reduced to the pole

This map comes from a transformation that allows to compensate the terrestrial magnetic field direction effect and therefore to position the anomalies directly above their source (Fig. 3).

The anomalies situated west of Ment are well correlated to Dahdouh, Outrir, Tiazdent, Ait Haddou and Taqlalt lavas. They have a very high intensity.

qui montre le caractère très aimanté des coulées volcaniques.

This shows the highly magnetised character of the volcanic flows.

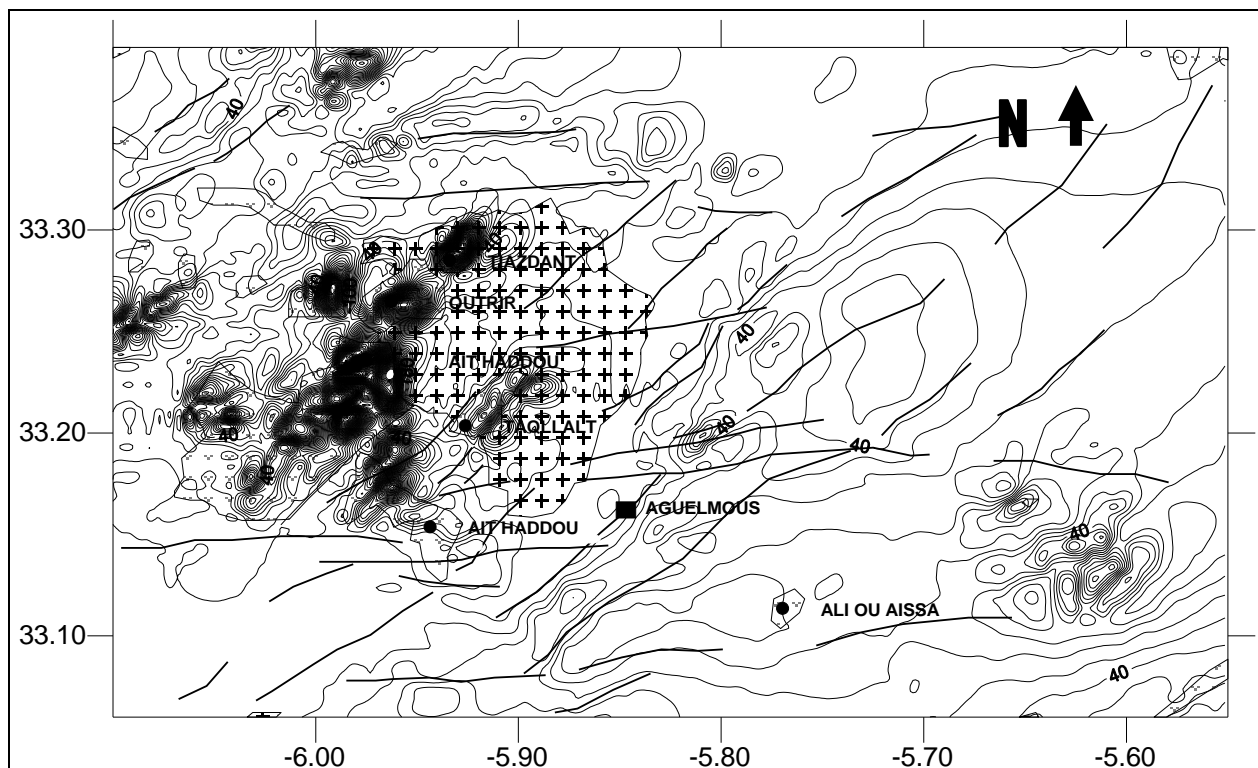


Fig. 3 – Carte d'anomalies du champ résiduel après réduction au pôle ; extension des laves plio-quaternaires et linéaments tectoniques.

Fig. 3 – Map of the residual field anomalies after reduction to the pole; extension of the Plio-Quaternary lavas and tectonic lineaments.

Les mesures paléomagnétiques effectuées sur une trentaine d'échantillons qui appartiennent à quelques coulées ont montré que l'intensité de l'aimantation rémanente est variable d'un site à l'autre et au sein d'un même site. Elle est en moyenne de 12 A/m. La susceptibilité magnétique est en revanche plus homogène : $7,35 \cdot 10^{-2}$ SI. Les coulées qui suivent les oueds (Bou Imzezene et Ksiksou au NW du Ment) ne produisent que des anomalies de faible intensité. Elles sont de faible épaisseur.

Les anomalies de la partie orientale du domaine semblent être engendrées par des sources de même type que les laves plio-quaternaires localisées à l'ouest du Ment puisqu'un affleurement de même type de lave existe plus à l'est (volcan d'Ali-Ou-Aissa). Aucun autre type de source au magnétisme aussi élevé n'affleure dans la région.

Les anomalies orientales sont remarquablement allongées suivant une direction NE-SW. Elles témoignent d'un linéament tectonique qui passe à leur emplacement. La direction de l'aimantation rémanente, obtenue par les traitements paléomagnétiques, n'est pas colinéaire au champ normal. L'analyse par composantes principales (Kirschvink, 1980) sur plusieurs échantillons désaimantés par chauffage et par champ alternatif a permis d'isoler une composante stable. La direction moyenne, déterminée par la statistique de Fisher (Fisher, 1983),

The paleomagnetic analyses performed on about thirty samples from several flows have shown that the remanent magnetisation intensity is variable from one site to the other and within one site. It is in average 12A/m. The magnetic susceptibility is however more homogeneous: $7.35 \cdot 10^{-2}$ SI. The lava thinner flows following the wadis (Bou Imzezene and Ksiksou, NW of Ment) only produce low intensity anomalies. They are not thick.

The anomalies of the domain's eastern part seem to originate from the same type of sources generating the Plio-Quaternary lavas located west of Ment since a similar outcrop (same lava) exists further east (Ali-Ou-Aissa volcano). No other source with such a high magnetism outcrops in the region.

The eastern anomalies are remarkably elongated along a NE-SW direction. They show a tectonic lineament going through their location. The residual magnetisation direction, obtained by paleomagnetic methods, is not collinear to the normal field. The principal component analysis (Kirschvink, 1980) on several samples demagnetised by heating and by alternative field allowed us to isolate a stable component. The mean direction, determined by Fisher's statistic (Fisher, 1983), gives $D=52.1^\circ$ and $I=60.1^\circ$.

donne $D=52,1^\circ$ et $I=60,1^\circ$. Ces résultats ont été pris en compte pour calculer la carte réduite au pôle. La forme vraisemblablement allongée des sources et la direction de leur aimantation sont alors en accord avec la forme des anomalies et la disposition de leurs lobes.

Analyse de la carte réduite au pôle prolongée vers le haut (RPh1)

Le prolongement vers le haut des données aéromagnétiques permet d'atténuer les anomalies de hautes fréquences (Gibert & Galdeano, 1985). Ces dernières sont généralement liées à des sources superficielles. La transformation souligne donc les sources de grande taille liées à des sources relativement profondes. Ceci apparaît nettement dans la grande anomalie d'intensité de 50 nT située à l'est du Ment et qui serait engendrée par une source profonde (fig. 4). Plus au sud, l'alignement des anomalies NE-SW persiste mais avec une faible intensité. Dans la partie ouest, les anomalies qui persistent s'organisent selon la direction NE-SW, en restant relativement intenses. En dehors de cette région, les anomalies sont de très faible amplitude.

These results have been taken into account to calculate the map reduced to the pole. The likely elongated shape of the sources and their magnetisation direction are then in conformity with the anomalies shape and their lobe arrangement.

Analysis of the reduced to the pole upward continued Mag map (RPh1)

The upward continuation of the aeromagnetic data allows to attenuate the high frequency anomalies (Gibert & Galdeano, 1985). The latter are generally linked to superficial sources. The transformation highlights the large size sources linked to relatively deep sources. This can be clearly seen in the large 50nT intensity anomaly located east from Ment and which would be generated by a deep source (Fig. 4). Further south, the alignment of the NE-SW oriented anomalies persists but with a low intensity. In the western part, the remaining anomalies are organised along the NE-SW direction, and are still relatively intense. Except in this region, the anomalies amplitude is very low.

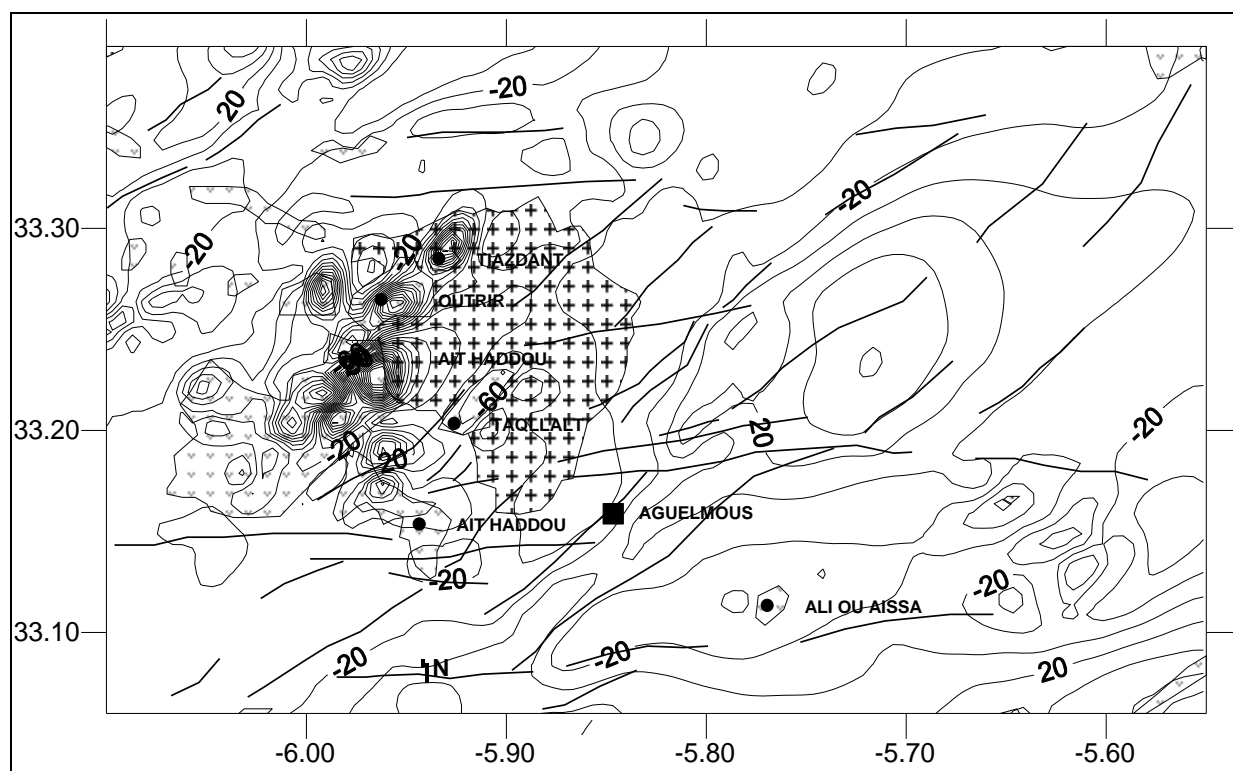


Fig. 4 – Carte des anomalies après réduction au pôle et prolongement vers le haut de 1 km.

Fig. 4 – Map of the anomalies after reduction to the pole and 1km upward continuation.

Les alignements ainsi mis en évidence démontrent que les laves qui se situent de part et d'autre du granite du Ment ont pris naissance dans un couloir faillé de direction NE-SW. Sa partie orientale montre un tracé qui coïncide avec la nouvelle limite déterminée entre les terrains d'âge

The alignments thus highlighted prove that the lavas situated on either side of Ment granite originated in a faulted corridor oriented NE-SW. Its eastern part shows a layout that corresponds to the newly determined limit between the upper Visean terranes with platform

Viséen supérieur à dépôts de plate-forme et les terrains d'âge Namurien à flyschs (Ghfir, 1993) (fig. 5).

deposits and the Namurian terrains with flyschs (Ghfir, 1993) (Fig. 5).

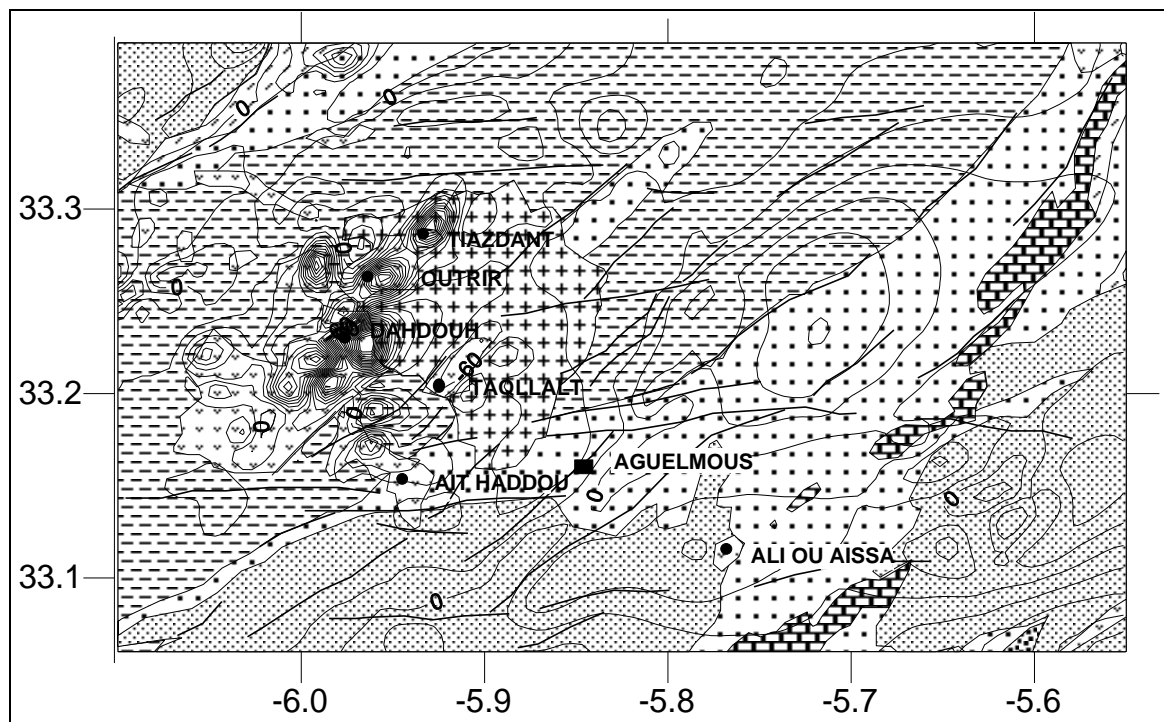


Fig. 5 – Carte réduite au pôle et prolongée de 1 km vers le haut superposée à la carte géologique de la région.
Fig. 5 – Reduced to the pole and 1km upward continued map, superimposed with the geological map of the area.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La partie du levé aéromagnétique du Maroc central couvrant la région d'Aguelmous réduite au pôle et prolongée de 1 km vers le haut montre des alignements d'anomalies magnétiques de direction NE-SW, engendrés incontestablement par les accidents majeurs.

Les signatures magnétiques sont soit de forme allongée –et c'est le cas de l'est du Ment–, soit elles regroupent de petites anomalies très intenses alignées suivant la même direction (ouest du Ment). Le premier groupe est créé vraisemblablement par des laves plio-quaternaires qui sont enfouies en profondeur (El Azzab & El Wartiti, 1998a). Le second groupe voit sa source affleurer intégralement à la surface, à l'image des laves moyen-atlasiques.

Par conséquent les failles qui sont intervenues au cours de l'ouverture et la fermeture des bassins hercyniens du Maroc central sont réactivées durant l'époque plio-quaternaire. On cite entre autres le linéament tectonique qui passe à l'est du Ment. En outre les mesures et les traitements paléomagnétiques que nous avons effectués sur des échantillons provenant de quelques coulées plio-quaternaires ont montré une nette différence de direction par rapport à celle prédite.

Nous interprétons cette différence par une rotation récente de la région dans le sens horaire. Néanmoins, un échantillonnage plus dense dans plusieurs coulées serait

DISCUSSION AND CONCLUSION

The part of the central Moroccan aeromagnetic survey covering Aguelmous when reduced to the pole and 1km upward continued shows some alignments of NE-SW oriented magnetic anomalies, generated by the major accidents.

The magnetic signatures have either elongated shapes – it is the case at the east of Ment–, or they group very intense small anomalies lined up along the same direction (west of Ment). The first group is in all likelihood created by the Plio-Quaternary lavas deeply buried (El Azzab & El Wartiti, 1998a). The second group's source completely outcrops at the surface, just like the Middle-Atlasic lavas.

As a result, the faults that occurred during the opening and closure of the central Moroccan Hercynian basins are reactivated during the Plio-Quaternary period. Among those, the tectonic lineament going through the east of Ment can be cited. Moreover, the acquisition and processing of paleomagnetic data from several Plio-Quaternary flows have shown a clear difference in direction compared with what was predicted.

We interpret this difference as a result of the recent clockwise rotation of the region. Nevertheless, denser sampling in several flows would be necessary to confirm

souhaitable pour confirmer ce résultat préliminaire. Par ailleurs, les études portant sur la sismicité naturelle du Maroc (Hatzfeld *et al.*, 1977) ont montré que les accidents qui parcourent la région d'Aguelmous sont sismiquement actifs suivant un axe de raccourcissement horizontal subméridien. Ce dernier combiné aux accidents de la région qui lui sont obliques est en bon accord avec le sens de rotation proposée ; ce qui serait comparable à la néotectonique du Moyen Atlas (El Azzab & El Wartiti, 1998b). □

this preliminary result. In addition, the studies on Morocco's natural seismicity (Hatzfeld et al., 1977) showed that the accidents running through Aguelmous district are seismically active along a horizontal submeridian shortening axis. The latter combined with the regional accidents that are oblique compared with this axis is in good agreement with the proposed rotation direction ; which would be comparable to the Middle-Atlantic neotectonic (El Azzab & El Wartiti, 1998b). □

Références bibliographiques

- Beaudet G. (1969) - Le plateau central marocain et ses bordures : étude géomorphologique. - Thèse, Fac. Lettres et Sci. humaines, Univ. Paris, 478 p.
- Bensaïd M., Janvier P., Termier H. & Termier G. (1980) - Présence du Westphalien inférieur dans la série du Fourhal. - *C.R. Acad. Sci. Paris*, 290, 1329-1332.
- Bouadbelli M. (1989) - Tectonique et sédimentation dans un bassin orogénique : le sillon viséen d'Azrou-Khénifra (Est du Massif hercynien du Maroc). - Thèse ès-sci., Univ. Strasbourg, 262 p.
- El Azzab D. & El Wartiti M. (1998a) - Paléomagnétisme des laves du Moyen Atlas (Maroc). Rotations récentes. - *C. R. Acad. Sci. Paris*, 327, 509-512.
- El Azzab D. & El Wartiti M. (1998b) - Mise en place de la chaîne volcanique du moyen Atlas (Maroc) : Traitement des données aéromagnétiques. - *Pangea*, 29/30, 45-51.
- Fisher R.A. (1983) - Dispersion on a sphere. - *Proc. Roy. Soc., A*:217, 295-305.
- Gibert D. & Galdeano A. (1985) - A computer program to perform transformation of gravitic and aeromagnetic survey. - *Computers and Geosciences*, vol. 11, 5, 553-588.
- Ghifir Y. (1993) - Le Paléozoïque de la région d'Aguelmous (Maroc central oriental). Stratigraphie, évolutions structurale et métamorphique hercyniennes. - Thèse 3^e cycle, Rabat, 172 p.
- Hatzfeld D., Frogneux M. & Girardin N. (1977) - Étude de sismicité dans la région de l'arc de Gibraltar et l'Algérie du Nord. - *Bull. Soc. Géol. France*, 7, XIX, 741-747.
- Hoepffner C. (1987) - La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc. - Thèse ès-sci., Strasbourg, 276 p.
- Huvelin P. (1973) - Déformations hercyniennes précoces dans la région comprise entre Azrou, Aguelmous et Khénifra (Massif hercynien central). - *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 254, 93-107.
- Kirschvink, J.L. (1980) - The least-squares line and plane and the analysis of palaeo-magnetic data, *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **62**, 699-718.
- Martin, J. (1983) - Le Moyen Atlas central. Etude géochronologique. - *Notes Mém. Serv. Géol. Maroc*, 258 p.
- Michard A., Cailleux Y. & Hoepffner C. (1983) - L'orogénèse mésetienne au Maroc ; structure, déformation hercynienne et déplacements. - Actes du symposium « Maroc et orogénèse paléozoïque ». - *PICG*, 27, Rabat, 24 p.
- Rachdi H.N. (1983) - Étude pétrologique du volcanisme récent du plateau central du Maroc. - Thèse 3^e cycle, Paris Sud, 141 p.
- Rachdi H.N. (1989) - Étude du volcanisme plio-quatenaire du Maroc central : Pétrographie, géochimie et minéralogie. - Thèse Ph-D, Québec.
- Rachdi H.N., Velde D. & Hernandez J. (1985) - L'association volcanique plio-quatenaire, basanite-néphéline-phonolite du Maroc central. - *C. R. Acad. Sci. Paris*, 301, II, 1293-1298.
- Ribeyrolles M. (1972) - Étude tectonique et microtectonique d'un segment de chaîne hercynienne dans la partie sud-orientale du Maroc central. - Thèse 3^e cycle, Univ. Montpellier.
- Tahiri A. (1991) - Le Maroc central septentrional : stratigraphie, sédimentologie et tectonique du Paléozoïque. Un exemple de passage des zones internes aux zones externes de la chaîne hercynienne du Maroc. - Thèse ès-sci., Univ. Brest, 285 p.
- Termier H. (1936) - Études géologiques sur le Maroc central et le Moyen-Atlas septentrional. - *Notes Mém. Serv. Géol.*, Maroc, 33, 1566 p.